Vol.13, No.4, winter 2024, pp.74-101 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2024.88146.1485 Open access

Vulnerability assessment of Helen Forest protected area to multiple environmental hazards

Farideh Saeidianpour[a], Ali Jafari[b*], Davood Mafi-Gholami[c]

[a] *MSc in Forest management, Shahrekord University, Shahrekord, Iran*
[b] *Associate Professor in Environment, Shahrekord University, Shahrekord, Iran*
[c] *Associate Professor in Forest management, Shahrekord University, Shahrekord, Iran*

Received: 31 May 2024 ***Revised: 1 September 2024*** ***Accepted: 3 October 2024***

Extended Abstract

Introduction

Despite the high importance of protected areas in providing ecosystem services essential to humans, the destruction and degradation of these unique areas have intensified, and this process continues. These damages and declines in the quality of protected areas occur due to various natural and man-made factors, including droughts, rising air temperatures, soil erosion, diseases, landslides, deforestation, agricultural land development, illegal hunting, and the destructive effects of pollutants and sewage. Therefore, planning and providing appropriate tools to mitigate the adverse effects of environmental hazards are crucial. The aim of this study is to evaluate the vulnerability of the Helen Forest Protected Area in Chaharmahal and Bakhtiari Province to multiple environmental hazards by combining sensitivity and exposure profiles. In fact, this research constitutes the first stage of the integrated vulnerability assessment process for the protected areas of Chaharmahal and Bakhtiari Province. The methods and results of this study will provide critical information regarding the intensity of exposure to multiple environmental hazards across the province's protected areas.

Material and Methods

Study Area: The Helen Forest Protected Area is located between 31°55´37´´ north

* .Corresponding author: Ali Jafari Email: jafari.ali@sku.ac.ir Tel:+989122499657

How to cite this Article: Saeidianpour, F., Jafari, a., Mafi-Gholami, D. (2024). Vulnerability assessment of Helen Forest protected area to multiple environmental hazards. *Journal of Geography and Environmental hazards*, 13(4), 74-101

latitude and 50°53´11´´ east longitude, with an area of 20,131 hectares in Chaharmahal and Bakhtiari Province, southwest Iran.

Methods:

To assess the vulnerability of the Helen Forest Protected Area to multiple environmental hazards, a field survey was conducted using systematic random sample plots of circular shape, each with an area of 1 hectare, located on a grid of 2000 m x 2000 m. Based on changes in canopy cover percentages derived from the plots, a sensitivity map of forest habitats was prepared and standardized. In the next phase, standardized maps for five environmental hazards—drought, evapotranspiration, wildfire, flood, and landslide—were created by analyzing climatic data, such as monthly precipitation and evapotranspiration rates, as well as the results of previous studies. Using the Delphi method and analyzing the opinions of five experts in forest habitat conservation, the relative weights of the environmental hazards were calculated. In the final stage, the standardized sensitivity and environmental hazard maps were multiplied by their calculated relative weights. By integrating the dimensionless weighted maps of environmental hazards and forest habitat sensitivity, a vulnerability classification map with three categories—low, moderate, and high—was produced.

Results and Discussion

The results of the calculated relative weights for each environmental hazard indicated that drought had the highest relative weight (0.95) among all the hazards studied, followed by wildfire (0.9). The integration of the weighted sensitivity maps of the habitats and the environmental hazards revealed that the vulnerability of the Helen Protected Forest Area ranged from 1.25 to 3.38. Variations in habitat sensitivity and hazard intensity across different parts of the area resulted in heterogeneity and a concentration of high vulnerability levels in specific sections of the study area.

The classification of the vulnerability map into three categories—low, medium, and high vulnerability—showed that 6,701.8 hectares (23%) fall into the low vulnerability category, 10,806.3 hectares (37%) fall into the medium category, and 11,664.4 hectares (51%) are classified as highly vulnerable.

This research offers a detailed spatial map of vulnerability patterns across the Helen Protected Area, providing critical information for conservation planning and the prioritization of management actions. These actions aim to prevent or mitigate damages caused by multiple environmental hazards in the region.

Conclusion

This study focused on assessing natural environmental hazards and the sensitivity of forest habitats. However, to achieve a comprehensive vulnerability assessment of the Helen Protected Area, it is essential to also examine man-made hazards. Therefore, future studies should investigate the effects of man-made hazards such as exploitation, livestock grazing, rural development, agriculture, and tourism on the forest habitats and protected area of Helen. Such studies could enhance understanding of the vulnerability dynamics in the region and improve conservation and management planning. Additionally, it is suggested that future studies consider other environmental hazards,

such as pests and diseases, to assess the vulnerability of the Helen Forest Protected Area. Furthermore, when analyzing changes in the structure and extent of forest habitats, area and density indicators should be employed as sensitivity criteria in vulnerability assessments.

Keywords: Environmental Vulnerability, Natural Hazards, Vulnerability Mapping, Helen Protected Area, Zagros, Ecosystem Services, Northwest of Iran.

How to cite this Article: Saeidianpour, F., Jafari, a., Mafi-Gholami, D. (2024). Vulnerability assessment of Helen Forest protected area to multiple environmental hazards. *Journal of Geography and Environmental hazards*, 13(4), 74-101

جلد ۱۳، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۳، ص ۱۰۱-۷۴

ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

نشریه علمی
جغرافیا و مخاطرات محیطی

دسترسی آزاد DOI: 10.22067/geoeh.2024.88146.1485 مقاله پژوهشی

ارزیابی آسیب‌پذیری طبیعی منطقه حفاظت‌شده جنگلی هلن در استان چهارمحال و بختیاری به مخاطرات محیطی چندگانه

فریده سعیدیان پور- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، ایران

علی جعفری[1]- دانشیار گروه محیطزیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، ایران

داوود مافی غلامی- دانشیار گروه علوم جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، ایران

تاریخ دریافت:۱۴۰۳/۳/۱۱ تاریخ بازنگری:۱۴۰۳/۶/۱۱ تاریخ پذیرش:۱۴۰۳/۷/۱۲

چکیده

هدف مطالعه حاضر بررسی آسیب‌پذیری منطقه حفاظت‌شده جنگلی هلن نسبت به مخاطرات محیطی چندگانه بود. برای این منظور، در مرحله نخست، آماربرداری میدانی در قالب قطعات نمونه سیستماتیک تصادفی انجام و نقشه درجه حساسیت رویشگاه‌های جنگلی منطقه بر اساس تغییرات درصد تاج پوشش تهیه و استاندارد شد. در مرحله بعد، نقشه‌های استانداردشده پنج مخاطره محیطی شامل خشکسالی، تبخیر و تعرق، آتش‌سوزی، سیلاب و زمین‌لغزش با تجزیه‌وتحلیل داده‌های اقلیمی شامل مقادیر بارندگی و تبخیر و تعرق ماهانه و نتایج مطالعات پیشین تهیه شدند. با اجرای روش دلفی و تجزیه‌وتحلیل نظرات ۵ نفر از متخصصان امر حفاظت از رویشگاه‌های جنگلی، وزن نسبی مخاطرات محیطی محاسبه شد. در مرحله آخر، نقشه‌های استاندارد شده حساسیت و مخاطرات محیطی در وزن نسبی محاسبه شده ضرب شدند و ضمن تلفیق نقشه‌های وزن‌دار بی‌مقیاس مخاطرات محیطی و حساسیت رویشگاه‌های جنگلی، نقشه طبقه‌بندی میزان آسیب‌پذیری در سه‌طبقه کم، متوسط و زیاد تهیه شد. نتایج مقادیر وزن نسبی محاسبه‌شده برای هر یک از مخاطرات محیطی نشان داد که خشکسالی بیشترین وزن نسبی (۰/۹۵) را در بین تمام مخاطرات موردبررسی دارد و پس‌ازآن آتش‌سوزی (با وزن نسبی ۰/۹) دومین رتبه را به خود اختصاص داد. تلفیق نقشه‌های وزن‌دار درجه حساسیت رویشگاه‌ها و مخاطرات محیطی نشان داد که میزان آسیب‌پذیری منطقه حفاظت‌شده

[1] نویسنده مسئول: ۰۹۱۲۲۴۹۹۶۵۷ Email; Jafari.ali@sku.ac.ir

جنگلی هلن از ۱/۲۵ تا ۳/۳۸ متغیر بود. تفاوت در درجه حساسیت رویشگاه‌ها و شدت وقوع مخاطرات در بخش‌های مختلف منطقه سبب ایجاد ناهمگنی و تمرکز سطوح بالای آسیب‌پذیری در برخی از بخش‌های منطقه موردمطالعه شده است. طبقه‌بندی نقشه تغییرات سطح آسیب‌پذیری در سه‌طبقه با درجه آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد نشان داد که به ترتیب ۶۷۰۱/۸، ۱۰۸۰۶/۳ و ۱۱۶۶۴/۴ هکتار از وسعت رویشگاه جنگلی منطقه حفاظت‌شده هلن در طبقات با درجه آسیب‌پذیری کم (۲۳ درصد)، متوسط (۳۷ درصد) و زیاد (۵۱ درصد) قرار دارد. این تحقیق با فراهم آوردن نقشه دقیق مکانی از الگوی مکانی آسیب‌پذیری در سطح منطقه حفاظت‌شده هلن اطلاعات حیاتی برای توسعه برنامه‌ریزی‌های حفاظتی و اولویت‌بندی اقدامات مدیریتی برای جلوگیری یا کاهش صدمات ناشی از مخاطرات محیطی چندگانه را برای این منطقه فراهم نموده است.

کلیدواژه‌ها: آسیب‌پذیری محیطی، مخاطرات محیطی، تهیه نقشه آسیب پذیری، منطقه حفاظت شده هلن، زاگرس، خدمات اکوسیستم، شمالغرب ایران.

۱- مقدمه

با وجود اهمیت بالای مناطق حفاظت شده در فراهم نمودن خدمات اکوسیستمی مورد نیاز انسان، تخریب و از بین رفتن این مناطق منحصربه‌فرد شدت یافته است و این روند همچنان ادامه دارد (Liu et al., 2001; Cabral, Saito, Pereira & Laques, 2018). این تخریب‌ها و افت کیفیت مناطق حفاظت‌شده تحت تأثیر عوامل طبیعی و انسان‌ساخت مختلفی صورت می‌گیرد که از آن جمله می‌توان به خشکسالی‌ها، افزایش دمای هوا، فرسایش، بیماری‌ها، زمین‌لغزش، جنگل‌زدایی و توسعه زمین‌های زراعی، شکار غیرمجاز و اثرات مخرب ناشی از آلاینده‌ها و فاضلاب‌های انسانی اشاره نمود (Pringle, 2017; Cabral et al., 2018). ازاین‌رو، انجام برنامه‌ریزی و فراهم آوردن ابزارهای مناسب برای کاهش اثرات نامطلوب مخاطرات محیطی، اجتناب‌ناپذیر است. دستیابی به هدف فوق در گرو آگاهی و اطلاعات کافی و دقیق درباره میزان آسیب‌پذیری مناطق حفاظت‌شده نسبت به وقوع مخاطرات محیطی چندگانه است که نتایج آن سازمان‌ها و مدیران متولی را به انتخاب گزینه‌های سازگار مناسب جهت تعدیل پیامدهای مخرب وارد آمده بر مناطق حفاظت شده رهنمون خواهند کرد و به راه‌کارهای لازم جهت دستیابی به پایداری آن‌ها می‌انجامد (Turner et al., 2003).

به‌طورکلی، بر اساس تقسیم‌بندی عوامل آسیب‌پذیری به عوامل اقتصادی و اجتماعی و بیوفیزیکی درونی و بیرونی، پنج رویکرد ریسک- مخاطره (Wilhelmi & Morss, 2013)، فشار و رهاسازی (Adger, 2006)، سیاسی- اقتصادی یا سیاسی- اکولوژیک (Bryant et al., 2013)، تاب‌آوری (Tidball & Stedman, 2013) و یکپارچه (Metzger, Leemans & Schröter, 2005) توسعه یافته است. بر اساس تعاریف موجود، آسیب‌پذیری سیستم‌ها تابعی از سه مؤلفه "در معرض قرارگرفتن" و "حساسیت سیستم نسبت به تنش و شرایط پرخطر خارجی" و "ظرفیت سیستم برای جذب و یا غلبه بر اثرات مربوط به تنش‌های ذکر شده" در مقیاس‌های گوناگون است (Smit & Wandel, 2006; Adger, 2006). در میان ابعاد تشکیل‌دهنده آسیب‌پذیری و براساس تعاریف صورت گرفته (Kasperson et al., 2005; Adger, 2006)، در معرض قرار گرفتن به‌عنوان درجه، طول مدت و گستره‌ای است که یک سیستم در تماس و یا تحت تأثیر آشفتگی‌ها یا تنش‌های محیطی قرار گرفته است. بول (Bohle, 2002) بیان نمود که در معرض قرار گرفتن بر خلاف دو مفهوم توان سازشی و حساسیت، از عناصر تشکیل‌دهنده سیستم نیست بلکه یک ویژگی از رابطه میان سیستم و آشفتگی‌ها است. اگر مفهوم در معرض قرارگرفتن جدا از مفهوم آسیب‌پذیری باشد، در معرض قرارگرفتن، یک خصوصیت نسبی و آسیب‌پذیری یک ویژگی از سیستم خواهد بود. نتیجتاً، آسیب‌پذیری یک سیستم، براساس حساسیت و توان سازش آن محاسبه می‌گردد و در معرض قرارگرفتن یک آشفتگی مشخص نیز به‌صورت مجزا تعیین خواهد شد (Gallopin, 2006). بر این اساس، شناسایی و نقشه‌بندی تنش‌های چندگانه مؤثر بر این سیستم‌ها یکی از جنبه‌های مهم در ارزیابی آسیب‌پذیری سیستم‌های طبیعی است؛ چراکه تغییر و تخریب رخ‌داده در اکوسیستم‌ها ناشی از بروز تنش‌های چندگانه طبیعی و انسانی وارد آمده بر آن‌ها است (Mafi-Gholami, Pirasteh, Ellison & Jaafari, 2021). ازاین‌رو در فرایند ارزیابی آسیب‌پذیری شناسایی و نقشه‌بندی تنش‌های چندگانه می‌تواند نقش قابل‌توجهی در دستیابی به هدف حفاظت از اکوسیستم‌های طبیعی و ارائه راه‌کارهای مدیریتی و برنامه‌ریزی مؤثر برای به حداقل رساندن اثرات مخرب ناشی از تنش‌های چندگانه داشته باشد (Turner et al., 2003).

در میان روش‌های مختلف ارزیابی آسیب‌پذیری، رویکرد ریسک-مخاطره یکی از پرکاربردترین رویکردها است (Wilhelmi & Morss, 2013). این رویکرد بر اساس میزان مواجهه و احتمال وقوع طیفی از تنش‌ها و آشفتگی‌های محیطی توسعه یافته است. ریسک شامل یک رویداد فیزیکی، پدیده یا فعالیت انسانی است که به‌طور بالقوه آسیب‌رسان است و با گستردگی فضایی، شدت، فراوانی و احتمال وقوع شناخته می‌شود (Wilhelmi & Morss, 2013; Mafi-Gholami, Zenner, Jaafari, Bakhtyari & Bui, 2019). بر اساس این رویکرد، مطالعات مختلفی تلاش کرده‌اند تا ریسک و آسیب‌پذیری سیستم‌ها و مناطق مختلف را در برابر یک یا چندین مخاطره محیطی ارزیابی کنند. پورقاسمی و همکاران (Pourghasemi, Gayen, Panahi, Rezaie & Blaschke, 2019) احتمال وقوع سه مخاطره محیطی، یعنی زمین‌لغزش، سیل و زلزله، را در استان لرستان برآورد نمودند و نقشه احتمال چندگانه خطر را تهیه کردند. در مطالعه‌ای دیگر، رحمتی و همکاران (Rahmati et al., 2019) ریسک وقوع بهمن، سیل و زمین‌لغزش را در مناطق کوهستانی ایران با استفاده از داده‌های تاریخی وقوع این مخاطرات و طیفی از متغیرهای محیطی نقشه‌سازی نمودند. در حوزه ارزیابی آسیب‌پذیری، ارزیابی‌های آسیب‌پذیری رویشگاه‌های جنگلی شامل تعیین حساسیت این مناطق به تغییرات فیزیکی نظیر تغییرات ناشی از تغییرات اقلیمی، اجتماعی-اقتصادی و اکولوژیکی و ارائه گزینه‌های سازگاری است (Pirasteh et al., 2024). بر این اساس، مطالعات مختلفی تلاش کرده‌اند تا آسیب‌پذیری رویشگاه‌های جنگلی را نسبت به مخاطرات محیطی گوناگونی مانند خشکسالی (Callahan et al., 2022)، افزایش دمای هوا (Mildrexler, Yang, Cohen & Bell, 2016) یا مجموعه‌ای از مخاطرات اقلیمی (Pirasteh et al., 2024) ارزیابی کنند تا راه‌حل‌های مدیریتی و برنامه‌ریزی مؤثری برای مدیریت پایدار این اکوسیستم‌ها را ارائه دهند. چالش اصلی در ارزیابی‌های آسیب‌پذیری رویشگاه‌های جنگلی، در نظر گرفتن طیفی از مخاطرات محیطی چندگانه است که معمولاً به‌طور هم‌زمان در این اکوسیستم‌ها رخ می‌دهند (Saatchi et al., 2021). این امر از اهمیت قابل‌توجهی برخوردار است؛ چراکه رویکردهای تک فشار-تک پیامد نمی‌توانند تصویر دقیق از آسیب‌پذیری رویشگاه‌های جنگلی را در دنیای واقعی ارائه دهند (Thakur et al., 2021). برای غلبه بر این مشکل، محققان مختلف سعی کرده‌اند طیفی از مخاطرات محیطی را در فرآیند ارزیابی آسیب‌پذیری رویشگاه‌های جنگلی ادغام نمایند. مافی غلامی و همکاران (Mafi-Gholami et al., 2021) در ارزیابی

آسیب‌پذیری مانگروهای ایران در سواحل شمالی خلیج‌فارس و دریای عمان طیفی از مخاطرات محیطی چندگانه شامل خشکسالی، افزایش دمای هوا، بالا آمدن سطح آب دریا، فعالیت‌های انسانی و امواج طوفانی را در فرآیند ارزیابی آسیب‌پذیری این رویشگاه‌ها تلفیق نمودند. در مطالعه انجام‌شده توسط پیراسته و همکاران (Pirasteh et al., 2024)، ارزیابی آسیب‌پذیری رویشگاه‌های جنگلی کوهستانی ایران با در نظر گرفتن طیفی از مخاطرات محیطی چندگانه مانند خشکسالی‌های هواشناسی و هیدرولوژیک، افزایش دمای هوا؛ طوفان، زمین‌لغزش، آفات، سیلاب، فرسایش و آتش‌سوزی انجام شد.

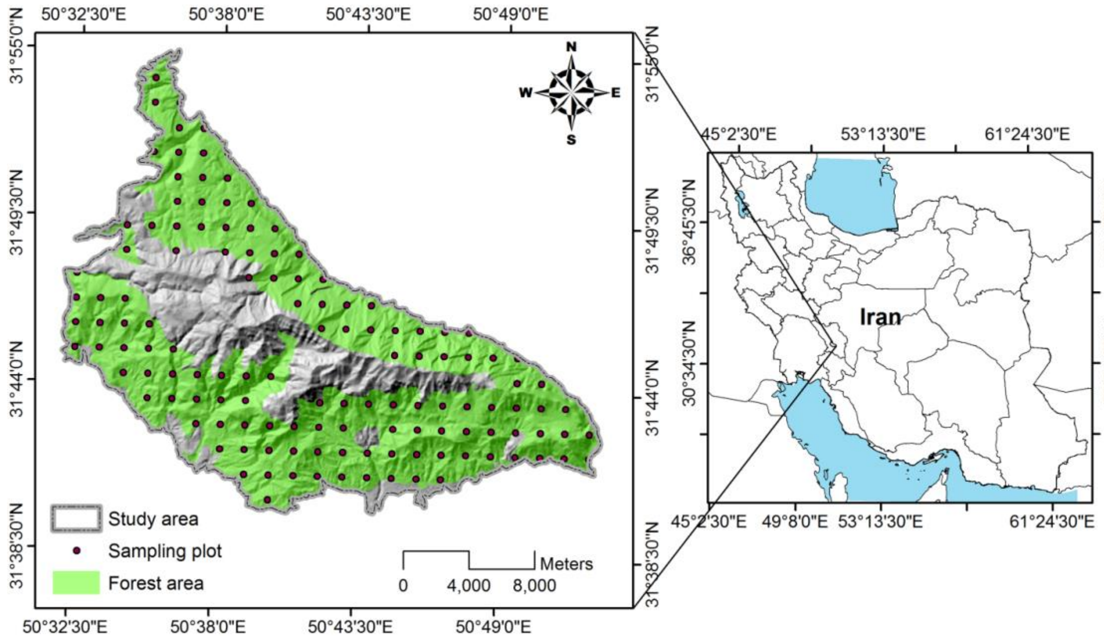
علی‌رغم اهمیت اجرای ارزیابی آسیب‌پذیری و نقشه‌سازی شدت وقوع مخاطرات محیطی چندگانه در سطح رویشگاه‌های زاگرس و به‌ویژه رویشگاه‌های جنگلی استان چهارمحال و بختیاری، تاکنون مطالعه‌ای در این زمینه در این رویشگاه‌ها انجام نشده است. لذا هدف این مطالعه ارزیابی آسیب‌پذیری منطقه حفاظت‌شده جنگلی هلن در استان چهارمحال و بختیاری نسبت به مخاطرات محیطی چندگانه از طریق تلفیق نمایه‌های حساسیت و در معرض قرارگرفتن است. در واقع این تحقیق نخستین مرحله از اجرای فرآیند ارزیابی یکپارچه آسیب‌پذیری مناطق حفاظت‌شده استان چهارمحال و بختیاری خواهد بود که روش و نتایج حاصل از آن اطلاعات حیاتی مربوط به شدت قرارگیری در معرض مخاطرات محیطی چندگانه را در سطح مناطق حفاظت‌شده این استان فراهم خواهد نمود.

۲-مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه موردمطالعه

منطقه حفاظت‌شده جنگلی هلن بین عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۵۵ دقیقه و ۳۷ ثانیه عرض شمالی و طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۵۳ دقیقه و ۱۱ ثانیه و ۵۰ درجه و ۳۲ دقیقه و ۸ ثانیه شرقی و با وسعتی معادل ۲۰۱۳۱ هکتار در استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است (شکل ۱). توپوگرافی منطقه کاملاً کوهستانی و ارتفاع از سطح دریا در این رویشگاه از حداقل ۱۱۶۸متر از پل ارمند تا ۳۲۲۵ متر در ارتفاعات کوه بزمنی متغیر است. منطقه از نظر ویژگی‌های آب‌وهوایی در اقلیم لردگان با آب و هوایی نیمه‌مرطوب با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد قرار دارد. میانگین بارش سالانه‌ی آن۸۰۰-۴۰۰ میلی‌متر و میانگین دمای

سالانه ۱۴ درجه‌ی سانتی‌گراد است. اراضی جنگلی و مرتعی به ترتیب با ۳۰ و ۱۰ هزار هکتار، پوشش عمده منطقهٔ هلن را تشکیل می‌دهند. گونهٔ درختی غالب آن بلوط ایرانی است، اما گونه‌های گیاهی دیگری نظیر بادام، ارژن، گون، بنه، کلخونک، کلاه میرحسن، زالزالک، پلاخور، شکرتیغال و دافنه نیز در منطقه مشاهده می‌شوند (Darvishsefat, 2006).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه حفاظت‌شده جنگلی هلن در استان چهارمحال و بختیاری و موقعیت پلات‌های نمونه‌برداری بر روی آن

Fig.1. Geographical location of Helen Forest protected area in Chaharmahal and Bakhtiari province and the location of the sampling plots

۲-۲- روش انجام پژوهش

۲-۲-۱- نقشه‌بندی درجه حساسیت منطقه حفاظت‌شده جنگلی هلن بر اساس درصد تاج پوشش

در این پژوهش، برای نقشه‌بندی درجه حساسیت و آسیب‌پذیری منطقه موردبررسی از تغییرات درصد تاج پوشش استفاده شد. تاج پوشش به‌عنوان یکی از شاخص‌های اکولوژیکی، منعکس‌کننده تبادل انرژی، آب و دی‌اکسید کربن بین رویشگاه‌های جنگلی و محیط پیرامون و یکی از پرکاربردترین شاخص‌های ارزیابی

سلامت و ویژگی‌های ساختاری مناطق جنگلی است (Korhonen, Korpela, Heiskanen & Maltamo, 2011; Mafi-Gholami et al., 2019). بدین منظور در اولین مرحله اقدام به آماربرداری زمینی و ثبت قطر تاج درختان بلوط در منطقه حفاظت‌شده جنگلی هلن شد. برای این منظور تعداد ۷۱ قطعه نمونه دایره‌ای شکل یک آری به روش سیستماتیک–تصادفی با ابعاد شبکه ۲۰۰۰ ×۲۰۰۰ متر برای ثبت اندازه قطر تاج در سطح منطقه بر اساس ملاحظات آماری، اکولوژیکی و عملیاتی طراحی شد. درنهایت با حذف قطعات نمونه واقع در عرصه‌های فاقد درخت و دارای میزان شیب بیش از ۷۰ درصد (عرصه‌های حمایتی)، تعداد ۶۰ قطعه نمونه با استفاده از GPS در سطح رویشگاه‌های جنگلی منطقه حفاظت‌شده هلن برای اندازه‌گیری تاج درختان پیاده شدند. در سطح هر یک از قطعه‌های نمونه، اندازه دو قطر عمود بر هم تاج درختان با استفاده از متر نواری با دقت سانتی‌متر اندازه‌گیری شد و بر اساس متوسط قطر تاج درختان، درصد تاج‌پوشش در قطعه‌های نمونه با استفاده از روابط (۱) و (۲) محاسبه شد.

رابطه (۱)

$$\mathbf{cc_i} = \frac{\pi}{4}(\mathbf{CD_{1i}} \times \mathbf{CD_{2i}})$$

در رابطه ۱: cc_i : سطح تاج درخت به متر مربع؛ CD_{1i} و CD_{2i} قطر بزرگ و کوچک درخت i به متر است.

رابطه (۲)

$$cc\% = \frac{\sum_{i=1}^{n} cc_i}{A} \times 100$$

در رابطه ۲: $cc\%$: درصد تاج پوشش در قطعه نمونه؛ cc_i : سطح تاج درخت به متر مربع و A: مساحت قطعه نمونه به متر مربع است (Askari, Zobeiri & Sohrabi, 2013).

سپس با استفاده از مقادیر درصد تاج پوشش محاسبه شده در قطعات نمونه و در محیط نرم‌افزار ArcGIS، نقشه تغییرات درصد تاج پوشش در سطح منطقه که نشان‌دهنده تغییرات درجه حساسیت پوشش جنگلی نیز می‌باشد، تهیه شد.

۲-۲-۲- نقشه‌بندی مخاطرات محیطی چندگانه در سطح منطقه حفاظت‌شده جنگلی هلن

- نقشه‌بندی مخاطره خشکسالی

شاخص بارش استاندارد (SPI) به دلیل کاربرد آسان، سازگاری مکانی و انعطاف‌پذیری زمانی به‌طور گسترده‌ای برای ارزیابی رویدادهای خشکسالی و مدیریت ریسک مرتبط با آن‌ها در سراسر نقاط جهان مورد استفاده قرار گرفته است (Zhang et al., 2012; Tamassoki, Soleymani, Bahrami & Abbasgharemani, 2014). برای محاسبه این شاخص از سری زمانی ۱۵ ساله داده‌های بارندگی ماهانه (۱۳۸۵–۱۴۰۰) مربوط به پنج ایستگاه سینوپتیک شهرکرد، بروجن، کوهرنگ، لردگان و ایذه که دارای پراکنش مناسب در پیرامون منطقه موردمطالعه بودند از سازمان هواشناسی کشور استفاده شد. با استفاده از نرم‌افزار DIP و تبدیل داده‌های بارندگی ماهانه به فرمت txt و در نظر گرفتن مقیاس زمانی یکساله، مقادیر SPI یکساله هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیک محاسبه شد (Mafi-Gholami, 2015). مقدار SPI با مقیاس‌های زمانی مختلف بیان‌کننده مقیاس زمانی اثرات خشکسالی بر روی منابع آبی است. مقادیر SPI با مقیاس‌های زمانی کوتاه (۱ تا ۳ ماهه) نشان‌دهنده تغییرات در رطوبت خاک است که در بخش کشاورزی دارای اهمیت بسیار است و مقادیر SPI با مقیاس‌های زمانی بلندتر (۶ ماهه، یکساله و بیشتر) نشان‌دهنده تغییرات بلندمدت در مقادیر آب‌های جاری سطحی و زیرزمینی و ذخایر و منابع آبی است که در زمینه تأثیر تغییرات بارندگی بر اکوسیستم‌های طبیعی و مدیریت منابع آب در سکونتگاه‌های انسانی دارای اهمیت است (Wu, Hayes, Weiss & Hu, 2001). ماه سپتامبر (پایان فصل تابستان) زمانی است که گیاهان و درختان به اوج نیاز آبی خود رسیده‌اند و بنابراین محاسبه شاخص‌های خشکسالی در این زمان می‌تواند به بهترین نحو تأثیرات کاهش بارندگی و وقوع خشکسالی را بر ساختار و سطح سلامت جنگل‌ها نشان دهند. به‌عبارت‌دیگر، سپتامبر زمانی است که اثرات تجمعی خشکسالی بر روی پوشش گیاهی و منابع آب جنگل‌ها بیشترین وضوح را دارد (Mafi-Gholami et al., 2019). برای محاسبه SPI، آمار درازمدت داده‌های بارندگی هر ایستگاه با تابع توزیع گاما برازش یافته و تابع حاصل برای پیدا کردن احتمال تجمعی بارندگی آن ایستگاه و برای ماه معین و مقیاس زمانی موردنظر، استفاده می‌شود. SPI یک مقدار نرمال‌شده با میانگین صفر و انحراف معیار یک است و ازاین‌رو، SPI مقدار انحراف استانداردی است که یک رویداد مشخص از شرایط نرمال، منحرف می‌شود. مقادیر SPI مثبت نمایانگر بارش بیشتر از مقدار بارش متوسط و مقادیر منفی آن بیانگر بارش کمتر از مقدار متوسط آن است (McKee, Doesken & Kleist, 1995). تابع توزیع گاما به‌صورت رابطه (۳) است:

$$g\ (x) = \frac{1}{\beta^{\alpha}\Gamma(\alpha)}\chi^{\alpha-1}e^{-x/\beta} \qquad \text{for } x > 0$$ رابطه (۳)

که در این رابطه: α>0: پارامتر شکل؛ β>0: پارامتر مقیاس؛ x>0: مقدار بارندگی و Γ(α): تابع گاما است.

در این مطالعه تعداد کم و پراکنش مکانی ایستگاه‌های موردبررسی، امکان محاسبه یک مدل سمی‌واریوگرام مطلوب را میسر نمی‌ساخت، چنانچه میرونن (Meirvenne, 1998) نیز اجرای روش کریجینگ را برای تعداد کم نمونه و با تغییرات مکانی زیاد نامناسب دانسته است. ازاین‌رو در این مطالعه نیز مانند مطالعه انجام‌شده توسط روبینسون و مترنیچت (Robinson & Metternicht, 2006) و چن و لیو (Chen & Liu, 2012)، روش وزن‌دهی عکس فاصله (IDW)[1] که یکی دیگر از روش‌های مناسب درون‌یابی است برای محاسبه شدت خشکسالی در سطح منطقه و در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.7 مورد استفاده قرار گرفت. درنهایت، شدت وقوع خشکسالی در سطح منطقه حفاظت‌شده جنگلی هلن نقشه‌بندی شد و از نقشه فازی‌سازی شده آن جهت تهیه نقشه ریسک وقوع مخاطرات محیطی چندگانه در سطح منطقه استفاده شد.

- **نقشه‌بندی مخاطره شدت تبخیر و تعرق**

برای نقشه‌بندی این مخاطره نیز از مقادیر میانگین مربوط به سری زمانی ۱۵ ساله مقادیر تبخیر و تعرق سالانه دوره ۱۵ ساله (۱۳۸۵-۱۴۰۰) مربوط به پنج ایستگاه سینوپتیک شهرکرد، بروجن، کوهرنگ، لردگان و ایذه استفاده شد. با استفاده از دستور IDW در نرم‌افزار Arc GIG و به‌کارگیری مقادیر میانگین تبخیر و تعرق سالانه هر یک از ایستگاه‌های سینوپتیک، تغییرات شدت تبخیر و تعرق در سطح منطقه حفاظت‌شده جنگلی هلن نقشه‌بندی شد و از نقشه فازی‌سازی شده آن برای تهیه نقشه ریسک وقوع مخاطرات محیطی چندگانه در سطح منطقه استفاده گردید.

- **نقشه‌بندی مخاطرات سیل، زمین‌لغزش و آتش‌سوزی**

در این مطالعه برای تهیه نقشه‌های ریسک سیل، زمین‌لغزش و آتش‌سوزی در سطح منطقه حفاظت‌شده جنگلی هلن از نتایج مطالعات انجام شده (Khosravi et al., 2020; Ngo et al., 2021; Jaafari, Rahmati,

[1] Inverse Distance Weighted

Zenner & Mafi-Gholami, 2022) استفاده شد. نقشه‌های ریسک سیل، زمین‌لغزش و آتش‌سوزی تهیه شده در مطالعات فوق دارای فرمت رستری و اندازه سلول ۳۰×۳۰ متر بودند. نقشه‌سازی ریسک این سه مخاطره بر مبنای استفاده از نقاط شاهد وقوع این مخاطرات در سال‌های گذشته و تحلیل رابطه میان موقعیت مکانی این نقاط با متغیرهای محیطی با استفاده از روش‌های داده‌کاوی و یادگیری ماشین بوده است. با استفاده از مرز منطقه موردمطالعه و در محیط نرم‌افزار ArcGIS، نقشه ریسک وقوع سیل، زمین‌لغزش و آتش‌سوزی در سطح منطقه برش داده شد و از نقشه فازی‌سازی شده آن‌ها برای تهیه نقشه ریسک وقوع مخاطرات محیطی چندگانه در سطح منطقه استفاده گردید.

۲-۲-۳- تعیین وزن نسبی مخاطرات محیطی

وزن نسبی هر یک از مخاطرات محیطی با استفاده از روش دلفی بسته طی یک فرایند چهار مرحله‌ای مطابق حسن‌زاده و همکاران (Hasanzadeh, Danehkar & Azizi, 2013) و مافی غلامی و همکاران (Mafi-Gholami, Feghhi, Danehkar & Yarali, 2015) شامل طراحی پرسش‌نامه، انتخاب متخصصان، ارسال و دریافت پرسش‌نامه‌ها به‌دفعات لازم و تجزیه‌وتحلیل نهایی پرسش‌نامه‌ها تعیین شد. به‌طورکلی، در روش دلفی چارچوب مشخصی در مورد نحوه انتخاب و تعداد متخصصان وجود ندارد و فاکتورهای متعددی مانند هدف تحقیق، کیفیت تصمیم، توانایی گروه تحقیق در اداره کردن فرایند مطالعه، زمان جمع‌آوری داده‌ها و منابع در دسترس و نیز پذیرش پاسخ، در تعیین تعداد اعضای گروه تأثیرگذار است (Manca et al., 2007). به‌طورکلی تعداد شرکت‌کنندگان در روش دلفی از ۵ تا ۲۰ نفر متغیر است (Landeta, 2006)، اما در گروه‌های همگن تعداد ۱۰ تا ۱۵ نفر کافی است و در شرایط آرمانی حتی گروه‌های چهارنفره هم می‌توانند عملکرد مناسبی داشته باشند (Windle, 2004). درنهایت، شناسایی و انتخاب متخصصان با استفاده از روش‌های مختلفی مانند قضاوت و تصمیم‌گیری مدیریت اصلی پروژه، موقعیت سازمانی افراد و مرور نویسندگان مقالات انجام می‌شود (Okoli & Pawlowski, 2004). در این مطالعه نیز با نظر مدیریت پروژه اقدام به انتخاب دقیق ۵ نفر از متخصصانی گردید که دارای سابقه علمی و عملی کافی در حوزه حمایت و حفاظت از رویشگاه‌های جنگلی زاگرس و مدیریت منابع طبیعی (حداقل ۱۰ سال سابقه فعالیت) بودند و نظرات خود را در زمینه درجه اهمیت مخاطرات معرفی شده بیان کردند.

به‌طورکلی قانون مشخصی در زمینه تعداد تکرارهای ارسال پرسش‌نامه وجود ندارد و آنچه تعیین‌کننده تعداد تکرارهاست، سطحی از توافق نظر نهایی است که موردپذیرش گروه ناظر بر اجرای فرایند دلفی قرار می‌گیرد (Bederman, McIsaac, Coyte, Kreder & Wright, 2010). ازاین‌رو، در مطالعه صورت گرفته توسط میلر (Miller, 2001) بیان شده است که در صورت انتخاب صحیح و آگاهانه متخصصان توسط گروه ناظر بر اجرای فرایند دلفی، تکرار ارسال پرسش‌نامه تغییر قابل‌توجهی را در سطح توافق نظر صورت گرفته در مورد گزینه‌های مطرح شده ایجاد نخواهد کرد و باوجوداین توافق نظر میان متخصصان می‌توان ارسال پرسش‌نامه‌ها را تنها در یک مرحله انجام داد. در این مطالعه، مطابق با روش به کاررفته توسط بدرمن و همکاران (Bederman et al., 2010) مفهوم اجماع نظر به‌صورت شرط همگنی و یا سازگاری عقیده میان متخصصان تعریف شد. آلفای کرونباخ یکی از شاخص‌های آماری است که برای ارزیابی سازگاری توافق نظر میان متخصصان در روش دلفی مورد استفاده قرار گرفته است (Bederman et al., 2010 Cronbach, 2004). محاسبه این شاخص به‌صورت رابطه (۴) است:

$$\alpha_x = k/k - 1(1 - \sum \sigma_{y_i}^2/\sigma_x^2)$$ رابطه (۴)

در این رابطه k: تعداد متخصصان؛ $\sigma_{y_i}^2$: واریانس مربوط به هر یک از پاسخ‌های هر یک از متخصصان و σ_x^2: واریانس مجموع پاسخ‌های مربوط به هر یک از متخصصان است. مقدار آلفای کرونباخ بین مقادیر ۰ تا ۱ متغیر است. مقادیر نزدیک به صفر، بیان‌کننده عدم توافق نظر میان متخصصان در تخصیص رتبه مشابه به یک گزینه مشخص است؛ درحالی‌که مقدار شاخص برابر با یک نشان‌دهنده توافق نظر کامل میان متخصصان در رتبه‌بندی است (Cronbach, 2004). در این مطالعه مقدار آلفای کرونباخ در دور نخست برابر با ۰/۹۳ به‌دست آمد که نشان‌دهنده اتفاق‌نظر زیاد میان متخصصان در رتبه‌بندی مخاطرات موردنظر بود؛ بنابراین، در این مطالعه، پرسش‌نامه‌ها تنها یک‌مرتبه برای رتبه‌بندی گزینه‌ها برای متخصصان ارسال شد.

۲-۲-۴- اولویت‌بندی مخاطرات محیطی

آماره‌های اصلی مورد استفاده در مطالعات دلفی برای تجزیه‌وتحلیل نظرات متخصصان در پرسش‌نامه‌ها شامل اندازه‌های مرکزی (میانگین، میانه و نما) و شاخص‌های پراکندگی (انحراف معیار و محدوده میان چارکی)

است (Kennedy, 2004)، که در این میان، استفاده از میانه و نما و میانگین نتایج مطلوب‌تری را به‌دست می‌دهد (Windle, 2004). در این مطالعه نیز بر اساس شیوه به‌کاررفته توسط حسن‌زاده و همکاران (Hasanzadeh et al., 2013) و مافی غلامی (Mafi-Gholami, 2015) برای جمع‌بندی آرای پرسش‌شوندگان از آماره میانگین برای محاسبه امتیاز وزن‌دار هر عامل اثرگذار و درنهایت درصد و درجه اهمیت آن استفاده شد. تعداد انتخاب‌های صورت‌گرفته برای هر درجه اهمیت به‌عنوان امتیاز آن درجه اهمیت (ni) در نظر گرفته شد. وزن عوامل نیز در دامنه بین ۰ تا ۱۰ در نظر گرفته شد و چنان‌که ذکر شد هر درجه اهمیت معرف یک دامنه از وزن است. برای هر عامل دو مؤلفه آماری شامل درصد (P) و درجه (D) اهمیت محاسبه شد. به‌منظور تعیین درصد اهمیت (P) ابتدا حداکثر امتیاز وزن‌دار قابل حصول (A)، از ضرب بالاترین امتیاز قابل‌انتظار (برابر با مجموع تعداد پرسش‌شوندگان (N) است) در حداکثر وزن تعدیل شده (W=10) به‌دست آمد (رابطه ۵). سپس از تقسیم نمودن مقدار حداکثر وزن تعدیل شده (W) بر مجموع وزن‌های هر عامل ($\sum x_i$)، ضریب وزن تعدیل‌شده (y_i) محاسبه شد (رابطه ۶). با استفاده از ضریب وزن تعدیل‌شده (y_i) و امتیاز هر معیار (n_i)، امتیاز وزن‌دار (z_i) حاصل شد (رابطه ۷). از تقسیم نمودن مجموع امتیاز وزن‌دار هر عامل بر حداکثر امتیاز وزن‌دار قابل حصول آن (A)، درصد اهمیت آن عامل به‌دست آمد (رابطه ۸). درنهایت، میانگین وزنی اهمیت هر تنش و یا آشفتگی از مجموع حاصل‌ضرب امتیاز در وزن (درجه اهمیت) تقسیم‌بر مجموع کل امتیازها (برابر با تعداد کل پرسش‌شوندگان که در این مطالعه برابر با ۵ بود) محاسبه و به‌عنوان درجه اهمیت (D) هر عامل اثرگذار در نظر گرفته شد (رابطه ۹).

$$A = N \times W$$ رابطه (۵)

$$y_i = \frac{W}{\sum x_i} \times x_i$$ رابطه (۶)

$$z_i = y_i \times n_i$$ رابطه (۷)

$$P = \frac{\sum z_i}{A} \times 100$$ رابطه (۸)

$$D = \frac{\sum (x_i \times n_i)}{N}$$ رابطه (۹)

در این مرحله، برای هر یک از مخاطرات موردبررسی، ضریب اهمیت نرمال‌شده (NIC)[1] یا همان وزن نسبی محاسبه شد. به‌این‌ترتیب که حاصل‌ضرب درصد و درجه اهمیت هر عامل (ضریب اهمیت) بر مقدار مجموع ضرایب اهمیت کلیه عوامل تقسیم‌شده و مقدار نرمال‌شده ضریب اهمیت (وزن نسبی) به دست آمد (رابطه ۱۰).

$$NIC = \frac{P \times D}{\sum(P \times D)}$$ رابطه (۱۰)

در این رابطه NIC عبارت از ضریب اهمیت نرمال‌شده، P عبارت از درصد اهمیت و D عبارت از درجه اهمیت هر مخاطره هستند.

۲-۲-۵- نقشه‌بندی تغییرات مکانی آسیب‌پذیری منطقه حفاظت‌شده جنگلی هلن

در این مرحله، نقشه‌های فازی‌سازی شده هر یک از مخاطرات محیطی پس از ضرب در وزن نسبی محاسبه شده با استفاده از روش دلفی در نرم‌افزار ArcGIS با یکدیگر ادغام شدند. با توجه به این‌که با افزایش مقدار تاج پوشش از درجه حساسیت رویشگاه‌های جنگلی نسبت به تنش‌ها و آشفتگی‌های محیطی گوناگون کاسته می‌شود، نقشه تغییرات وقوع مخاطرات محیطی چندگانه با معکوس نقشه فازی‌سازی شده تغییرات درصد تاج پوشش در محیط نرم‌افزار ArcGIS با استفاده از رابطه (۱۱) یکدیگر ادغام شدند:

$$VI = \frac{EI + (1 - SI)}{2}$$ رابطه (۱۱)

در این رابطه VI نمایه آسیب‌پذیری، EI ریسک مخاطرات چندگانه و SI حساسیت منطقه موردمطالعه است.

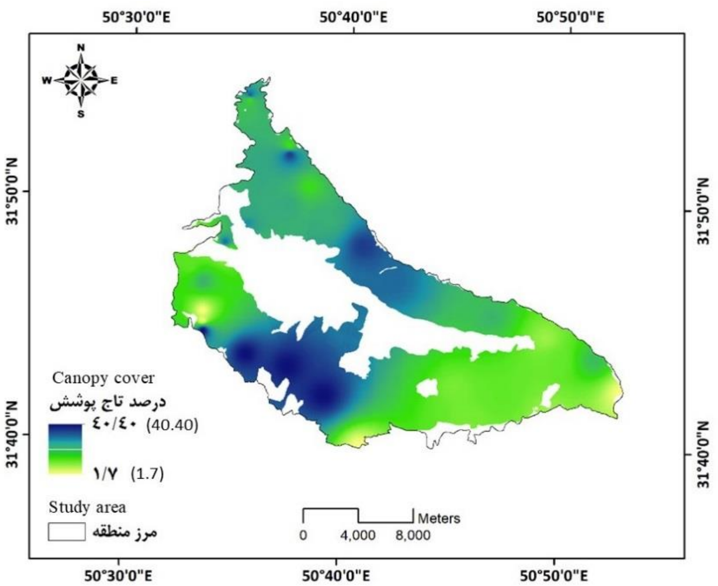
درنهایت نقشه طبقه‌بندی‌شده آسیب‌پذیری منطقه حفاظت‌شده جنگلی هلن نسبت به وقوع مخاطرات محیطی چندگانه بر اساس مقادیر انحراف معیار در سه‌طبقه با درجه آسیب‌پذیری کم (<۱/۳۷۶)، متوسط (۱/۶۱۹–۱/۳۷۶)، زیاد (<۰/۶۱۹) تهیه شد.

[1] Normalized Importance Coefficient (NIC)

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج نقشه‌بندی درجه حساسیت

اندازه‌گیری قطر تاج درختان در قطعه‌های نمونه نشان داد که مقدار متوسط این متغیر رویشی در منطقه حفاظت‌شده جنگلی هلن برابر با ۳۱۵/۲ سانتی‌متر بود و مقادیر حداقل و حداکثر این متغیر رویشی در منطقه نیز به ترتیب برابر با ۸۰۰ سانتی‌متر و ۱۱۵ سانتی‌متر بود. مقدار میانگین وسعت تاج در منطقه حفاظت‌شده جنگلی هلن برابر با ۲۰/۳۵ متر مربع محاسبه شد. همچنین، حداقل و حداکثر مقدار درصد تاج‌پوشش در منطقه حفاظت‌شده جنگلی هلن به ترتیب ۴۰/۴ متر مربع و ۱/۷ متر مربع بود. بر اساس وسعت تاج محاسبه‌شده در قطعه‌های نمونه، میانگین درصد تاج‌پوشش در منطقه حفاظت شده جنگلی هلن برابر با ۲۰/۳۵ درصد بود. طبقه‌بندی درجه حساسیت منطقه حفاظت‌شده جنگلی هلن بر اساس نقشه تغییرات میانگین درصد تاج‌پوشش در سطح رویشگاه جنگلی نشان داد که متناسب با تغییرات درصد تاج پوشش، بخش مرکزی رویشگاه جنگلی منطقه دارای درجه حساسیت بالاتری نسبت به سایر بخش‌های آن هستند. نتایج همچنین نشان داد که بخش‌های غربی و شرقی دارای درجه حساسیت پایین هستند (شکل ۲).

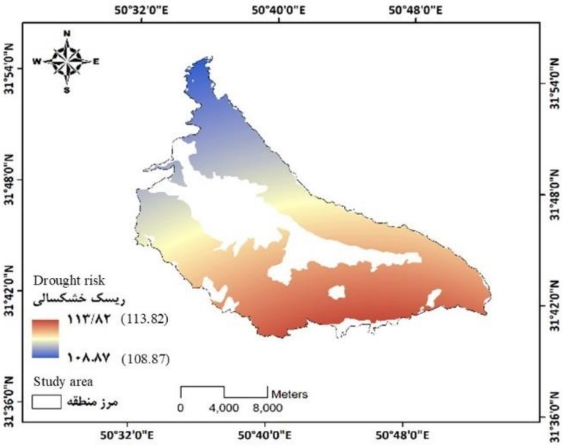


شکل ۲- تغییرات درصد تاج پوشش در سطح منطقه حفاظت شده جنگلی هلن

Fig.2. Canopy cover changes in Helen Forest protected area

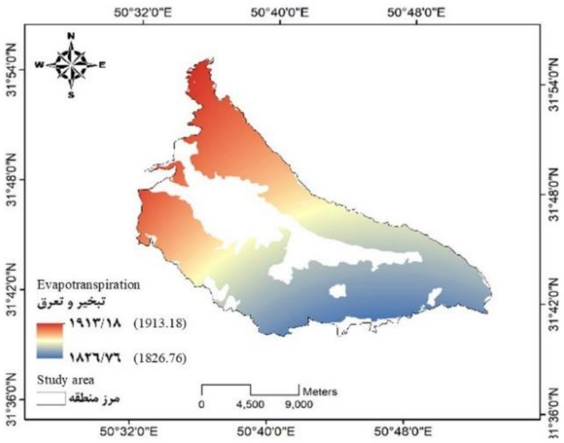
۳-۲- نتایج نقشه‌سازی مخاطرات محیطی چندگانه

شکل‌های شماره ۳ تا ۷ به ترتیب نقشه‌های مربوط به تغییرات مقادیر وقوع مخاطرات پنج‌گانه شامل خشکسالی، تبخیر و تعرق، سیل، زمین‌لغزش و آتش‌سوزی را در سطح منطقه موردمطالعه را نشان می‌دهند. تلفیق نقشه‌های استاندارد شده وزن‌دار مخاطرات موردبررسی و تهیه نقشه در معرض قرارگرفتن نشان داد که بخش‌های شرقی و غربی در معرض بیشترین ریسک مخاطرات موردبررسی قرار دارند (آسیب‌پذیری زیاد) و در مقابل، بخش‌های جنوبی و شمالی در معرض کمترین ریسک قرار دارند (آسیب‌پذیری کم و متوسط).



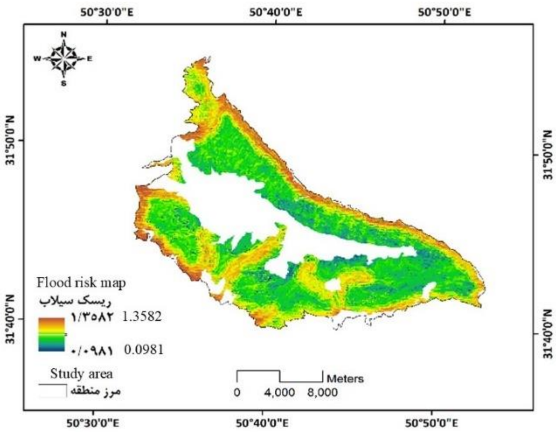
شکل ۳- نقشه ریسک وقوع خشکسالی

Fig. 3. Drought risk map



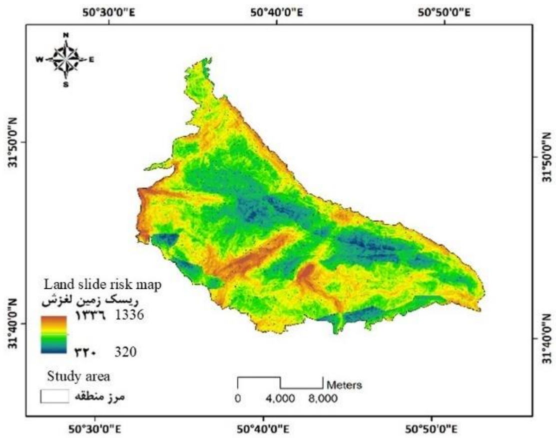
شکل ۴- نقشه تبخیر و تعرق

Fig. 4. Evapotranspiration map



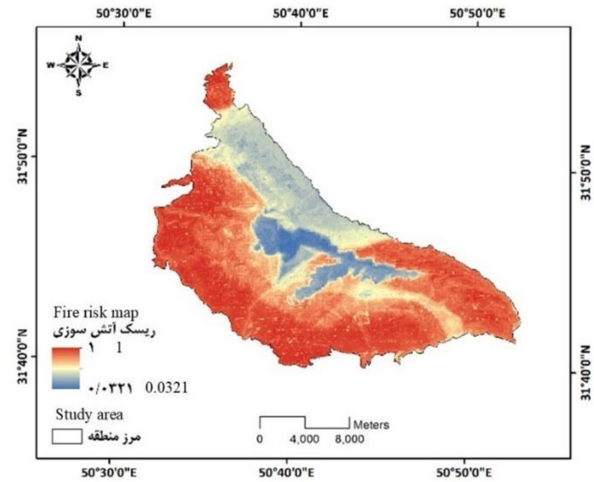
شکل ۵- نقشه ریسک سیل

Fig. 5. Flood risk map



شکل ۶- نقشه ریسک زمین‌لغزش

Fig.6. Landslide risk map

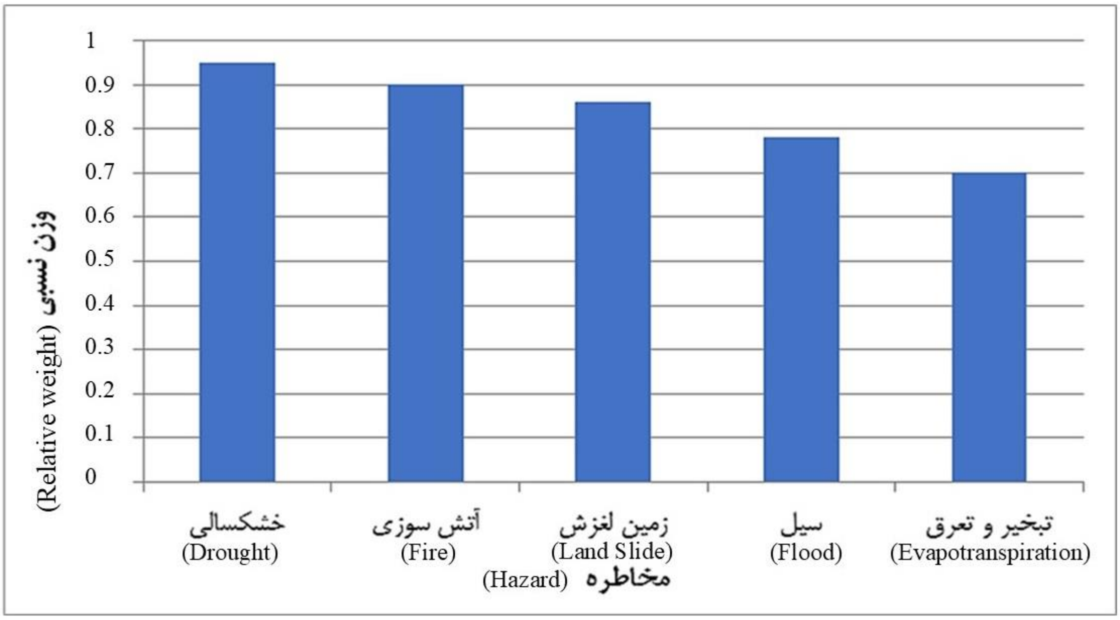


شکل ۷- نقشه ریسک آتش‌سوزی

Fig.7. Fire risk map

۳-۳- نتایج محاسبه وزن نسبی مخاطرات محیطی

محاسبه مقادیر ضریب اهمیت نرمال‌شده (وزن نسبی) بر اساس درصد و درجه اهمیت نشان داد که مخاطرات خشکسالی، آتش‌سوزی، زمین‌لغزش، سیل و تبخیر و تعرق به ترتیب دارای وزن نسبی برابر با ۰/۹۵، ۰/۸۲، ۰/۷۱، ۰/۵۸ و ۰/۳۲ بودند. بر این اساس خشکسالی بیشترین وزن نسبی را در بین تمام مخاطرات موردبررسی داشت و پس‌ازآن نیز در بین مخاطرات موجود، دومین رتبه را به خود اختصاص داد. نتایج همچنین نشان داد که مخاطره تبخیر و تعرق در سطح منطقه حفاظت‌شده جنگلی هلن در رتبه آخر قرار دارد. این نتایج نشان‌دهنده اهمیت کمتر این مخاطره در وارد آوردن اثرات نامطلوب محیطی بر منطقه موردمطالعه نسبت به سایر مخاطرات محیطی موردبررسی بود (شکل ۸).



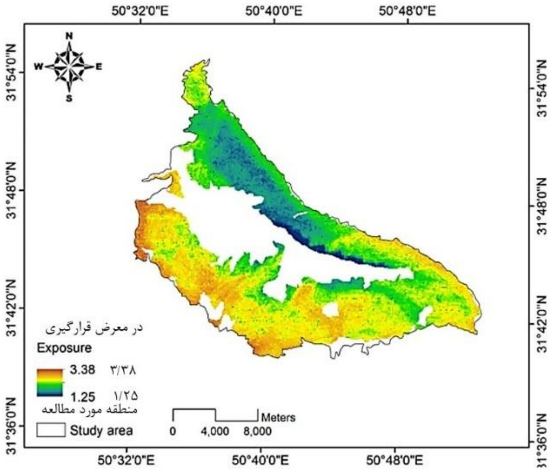
شکل ۸- وزن نسبی مخاطرات محیطی محاسبه‌شده با استفاده از روش دلفی

Fig.8. Relative weight of environmental hazards using Delphi method

۳-۴- نقشه‌بندی تغییرات مکانی آسیب‌پذیری

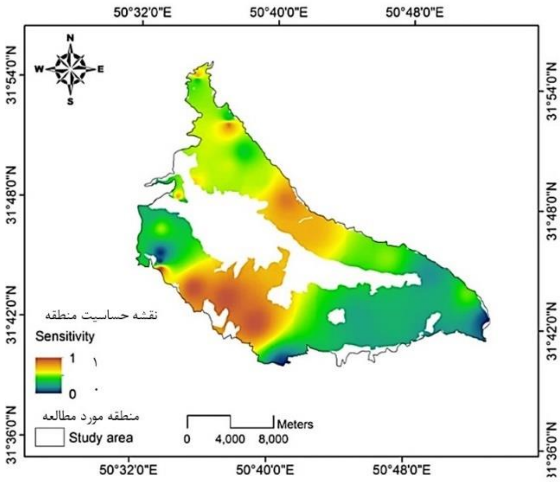
تلفیق نقشه‌های وزن‌دار فازی پنج نوع مخاطره محیطی شامل خشکسالی، تبخیر و تعرق، سیل، زمین‌لغزش و آتش‌سوزی (شکل ۹) و نقشه فازی تغییرات درجه حساسیت رویشگاه جنگلی منطقه حفاظت‌شده هلن (شکل ۱۰) در محیط نرم‌افزار ArcGIS نشان داد که طیفی از تغییرات مکانی آسیب‌پذیری در بخش‌های مختلف منطقه وجود دارد (شکل ۱۱). میزان آسیب‌پذیری منطقه حفاظت‌شده جنگلی هلن از ۱/۲۵ تا ۳/۳۸ متغیر است. طبقه‌بندی نقشه تغییرات سطح آسیب‌پذیری در سطح رویشگاه جنگلی منطقه حفاظت‌شده هلن در سه‌طبقه با درجه آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد نشان داد که میزان آسیب‌پذیری در بخش‌های شرقی و غربی منطقه بیشتر از سایر بخش‌های آن است (آسیب‌پذیری زیاد). در مقابل، میزان آسیب‌پذیری در بخش‌های جنوبی و شمالی کمتر از سایر بخش‌های منطقه حفاظت‌شده است (آسیب‌پذیری کم و متوسط). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، ۶۷۰۱/۸ و ۱۰۸۰۶/۳ و ۱۱۶۶۴/۴ هکتار از وسعت رویشگاه جنگلی منطقه

حفاظت‌شده هلن به ترتیب در طبقات با درجه آسیب‌پذیری کم (۲۳ درصد)، متوسط (۳۷ درصد) و زیاد (۵۱ درصد) قرار دارد (شکل ۱۲).



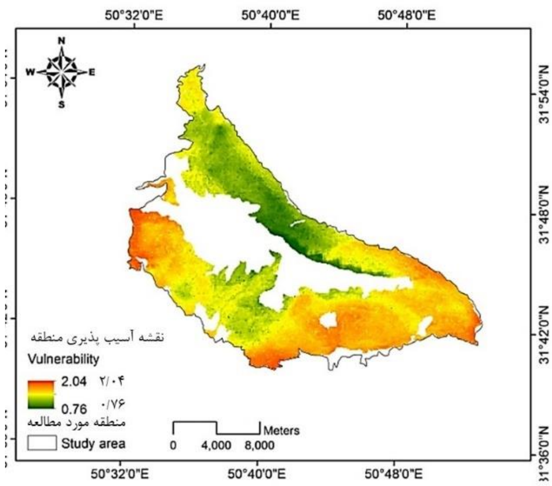
شکل ۹- نقشه قرارگیری منطقه در معرض مخاطرات

Fig.9. Study area exposure map



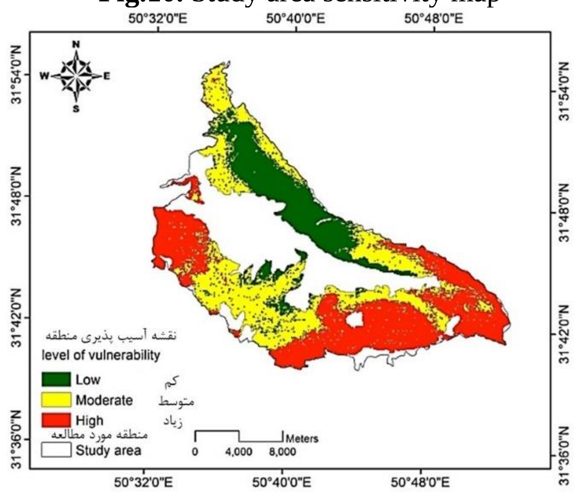
شکل ۱۰- نقشه حساسیت منطقه موردمطالعه

Fig.10. Study area sensitivity map



شکل ۱۱- نقشه تغییرات آسیب‌پذیری منطقه

Fig.11. Study area vulnerability map



شکل ۱۲- نقشه طبقه‌بندی آسیب‌پذیری منطقه

Fig.12. Study area vulnerability classification

۴- نتیجه‌گیری

نتایج تعیین وزن نسبی مخاطرات محیطی چندگانه‌شان داد که با توجه به آگاهی متخصصان از وضعیت کنونی منطقه حفاظت‌شده جنگلی هلن، از میان پنج مخاطره محیطی خشکسالی، تبخیر و تعرق، آتش‌سوزی، سیل و

زمین‌لغزش، دو مخاطره آتش‌سوزی و خشکسالی درمجموع از اهمیت بالاتری نسبت به سایر مخاطرات محیطی مؤثر بر این منطقه حفاظت‌شده برخوردار بودند. البته این نتایج چندان دور از انتظار نبود چنانکه سایر محققان و متخصصان نیز در میان عوامل گوناگون اثرگذار در تقلیل کنونی و آینده مورد انتظار در وسعت و سلامتی رویشگاه‌های جنگلی زاگرس، مخاطرات آتش‌سوزی و خشکسالی را دلیل افت و کاهش سطح این اکوسیستم‌ها بیان نموده‌اند (Jafari & Arman, 2014; Ahmadi, 2019). ذکر این نکته ضروری است که پایین‌بودن ضرایب اهمیت برخی از تنش‌ها و آشفتگی‌ها نشان‌دهنده ناچیزبودن تأثیر آن‌ها بر منطقه حفاظت‌شده جنگلی هلن نیست چنانکه وقوع تنش‌ها و آشفتگی‌هایی مانند تبخیر و تعرق که در اولویت‌های آخر به لحاظ وزن نسبی قرار دارند، می‌توانند اثرات مخربی را بر ساختار و عملکرد این اکوسیستم‌ها وارد آورند اما با توجه به نظر متخصصان و بر اساس وضعیت محیطی منطقه موردمطالعه، هنوز در اولویت قرار ندارند.

این مطالعه با هدف نقشه‌بندی آسیب‌پذیری منطقه حفاظت‌شده هلن، از طریق ترکیب دو بخش نقشه‌بندی شدت مخاطرات محیطی و نقشه‌بندی درجه حساسیت رویشگاه جنگلی منطقه انجام شد. نتایج نشان داد که مقادیر درجه آسیب‌پذیری هر یک از بخش‌های منطقه حفاظت‌شده، نمایانگر تأثیر هم‌زمان میزان حساسیت و شدت مخاطرات چندگانه مؤثر بر این منطقه است. به‌طور خاص، نقشه نهایی درجه آسیب‌پذیری نشان داد که بخش‌های شرقی و غربی منطقه دارای آسیب‌پذیری بیشتری نسبت به سایر بخش‌ها هستند. این امر به دلیل درجه حساسیت بالاتر و شدت بیشتر مخاطراتی همچون خشکسالی، تبخیر و تعرق، سیل، زمین‌لغزش و آتش‌سوزی در این بخش‌ها است. مقایسه نتایج تحقیق حاضر با مطالعات مشابه در دیگر مناطق نشان می‌دهد که روش ترکیبی نقشه‌بندی شدت مخاطرات و درجه حساسیت، می‌تواند به‌طور مؤثری در شناسایی مناطق با اولویت بالاتر برای اقدامات مدیریتی و حفاظتی مورد استفاده قرار گیرد. برای مثال، مطالعه مشابهی در منطقه حفاظت‌شده حرا نشان داد که استفاده ازاین‌روش می‌تواند بهبود چشمگیری در شناسایی و اولویت‌بندی مناطق آسیب‌پذیر داشته باشد (Sobhani & Danehkar, 2023). همچنین، نتایج این تحقیق همسو با نتایج مطالعه کومار و همکاران (Kumar et al., 2021) و هو و همکاران (Hu, Ma, Huang & Guo, 2021) است که

نشان دادند ترکیب عوامل محیطی و حساسیت رویشگاه‌ها می‌تواند به درک بهتری از دینامیک آسیب‌پذیری در مناطق دارای اهمیت اکولوژیک منجر شود. این تحقیق نشان داد که رویشگاه‌های جنگلی واقع در بخش‌های شرقی و غربی منطقه حفاظت‌شده دارای درجه حساسیت بیشتر و نیز در معرض طیف شدیدتری از ریسک مخاطرات محیطی چندگانه نسبت به سایر بخش‌های منطقه هستند. به‌عبارت‌دیگر، این نتایج نشان‌دهنده اولویت این بخش از رویشگاه جنگلی در انجام برنامه‌ریزی‌های حفاظتی و اولویت‌بندی اقدامات مدیریتی برای جلوگیری از وارد آمدن و یا کاهش صدمات ناشی از قرارگرفتن در معرض مخاطرات محیطی چندگانه است. پیشنهاد می‌شود که تحقیقات بیشتری برای ارزیابی تطبیقی این روش در دیگر مناطق حفاظت‌شده کشور انجام شود تا اثربخشی و قابلیت تعمیم آن موردبررسی قرار گیرد.

نتایج نقشه‌بندی تبخیر و تعرق و خشکسالی در منطقه حفاظت‌شده نشان داد که رابطه‌ای معکوس بین این دو پدیده وجود دارد. این یافته‌ها حاکی از آن است که مناطقی که میزان تبخیر و تعرق بالاتری دارند، معمولاً شدت خشکسالی کمتری را تجربه می‌کنند. این امر به دلیل وجود پوشش گیاهی بیشتر و دسترسی بهتر به منابع آب مانند بارندگی و آب‌های زیرزمینی است که باعث می‌شود این مناطق قادر به جذب آب کافی برای فرآیند تبخیر و تعرق باشند. این نتایج با یافته‌های مشابه در مناطق مختلف تأیید شده است که نشان می‌دهد تبخیر و تعرق بالا معمولاً در مناطق با رطوبت خاک بیشتر و منابع آب قابل‌دسترس‌تر رخ می‌دهد و این مناطق کمتر دچار خشکسالی می‌شوند ((Rehana & Monish, 2021. تحقیقات در شمال چین نیز نشان داده است که تبخیر و تعرق واقعی به‌شدت با میزان بارندگی مرتبط است، اما این رابطه با دیگر عوامل مانند تغییرات دمایی و دسترسی به آب تنظیم می‌شود (Su et al., 2022). از سوی دیگر، محاسبه شاخص خشکسالی (SPI) معمولاً بر اساس میزان بارندگی در یک دوره زمانی معین انجام می‌شود و بر این اساس در مناطقی که بارندگی کم است و درنتیجه رطوبت خاک کاهش می‌یابد و به دلیل نقصان آبی، مقادیر شاخص خشکسالی در این مناطق بالا است (CDG, 2024).

در این مطالعه، تمرکز اصلی بر ارزیابی مخاطرات محیطی طبیعی و حساسیت رویشگاه‌های جنگلی قرار داشت. بااین‌حال برای داشتن یک ارزیابی جامع و کامل از آسیب‌پذیری منطقه حفاظت‌شده هلن، لازم است

مخاطرات انسان‌ساخت نیز موردبررسی قرار گیرند. بر این اساس پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آتی، بررسی و ارزیابی تأثیرات مخاطرات انسان‌ساخت نظیر بهره‌برداری، چرای دام، توسعه روستایی و کشاورزی و گردشگری بر رویشگاه‌های جنگلی و منطقه حفاظت‌شده هلن صورت گیرد. این امر می‌تواند به درک کامل‌تری از دینامیک آسیب‌پذیری منطقه و همچنین بهبود برنامه‌ریزی‌های حفاظتی و مدیریتی کمک کند. علاوه براین، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده ارزیابی آسیب‌پذیری منطقه حفاظت‌شده جنگلی هلن سایر مخاطرات محیطی همانند آفات و بیماری‌ها نیز در نظر گرفته شوند و در بررسی روند تغییرات رخ داده در ساختار و گستره رویشگاه‌های جنگلی این منطقه دو شاخص گستره و تراکم منطقه نیز به‌عنوان معیارهای حساسیت در ارزیابی آسیب‌پذیری مورد استفاده قرار گیرند.

References

Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Global Environmental Change*, *16*(3), 268-281. http://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.006

Ahmadi, V. (2019). Crisis Management in Forest Fire by use of Image Landsat in Model Fire Risk (Case Study: Bioreh Protected Area, Illam Province). *Geospatial Engineering Journal*, *10*(2), 27-37. [In Persian] http://magiran.com/p2001760

Askari, Y., Zobeiri, M., & Sohrabi, H. (2013). Comparison of five distance sampling methods for estimating quantitative characteristics of Zagros Forests. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, *21*(2), 316-328. [In Persian] http://doi: 10.22092/ijfpr.2013.3860

Bederman, S. S., McIsaac, W. J., Coyte, P. C., Kreder, H. J. N. N., & Wright, M. J. G. (2010). Referral practices for spinal surgery are poorly predicted by clinical guidelines and opinions of primary care physicians. *Medical Care*, *48*, 852-858. https://www.jstor.org/stable/25750566

Bohle, H. G. (2002). Vulnerability: editorial to the special issue. *Geographica Helvetica*, *57*(1), 2-4. http://dx.doi.org/10.5194/gh-57-2-2002

Bryant, C., Carvajal Sánchez, N., Delusca, K., Daouda, O., & Sarr, A. (2013). Metropolitan vulnerability and strategic roles for periurban agricultural territories in the context of climate change and variability. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, *22*(2), 55-68. https://doi.org/10.1023/A%3A1005653320241

Cabral, A. I., Saito, C., Pereira, H., & Laques, A. E. (2018). Deforestation pattern dynamics in protected areas of the Brazilian Legal Amazon using remote sensing data. *Applied Geography*, *100*, 101-115. https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.10.003

Callahan, R. P., Riebe, C. S., Sklar, L. S., Pasquet, S., Ferrier, K. L., Hahm, W. J., ... & Holbrook, W. S. (2022). Forest vulnerability to drought controlled by bedrock composition. *Nature Geoscience*, *15*(9), 714-719. http://doi.org/10.1038/s41561-022-01012-2

Chen, F. W., & Liu, C. W. (2012). Estimation of the spatial rainfall distribution using inverse distance weighting (IDW) in the middle of Taiwan. *Paddy and Water Environment, 10*(3), 209-222. https://doi.org/10.1007/s10333-012-0319-1

Climate Data Guide (CDG). (2024). Standardized Precipitation Index (SPI). Climate Data Guide. Retrieved 02 03, 2024, from https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/standardized-precipitation-index-spi.

Cronbach, L. J. (2004). My current thoughts on coefficient alpha and successor procedures. *Educational and Psychological Measurement*, *64*, 391-418. https://10.1177/0013164404266386

Darvishsefat, A. A. (2006). *Atlas of Protected Areas of Iran*. Tehran: Tehran University Press. [In Persian]

Gallopin, G. C. (2006). Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change, 16*(3), 293-303. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.004

Hasanzadeh, M., Danehkar, A., & Azizi, M. (2013). The application of Analytical Network Process to environmental prioritizing criteria for coastal oil jetties site selection in Persian Gulf coasts (Iran). *Ocean & Coastal Management, 73,* 136-144. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.12.004

Hu, X., Ma, C., Huang, P., & Guo, X. (2021). Ecological vulnerability assessment based on AHP-PSR method and analysis of its single parameter sensitivity and spatial autocorrelation for ecological protection–A case of Weifang City, China. *Ecological Indicators, 125*, 107464. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107464

Jaafari, A., Rahmati, O., Zenner, E. K., & Mafi-Gholami, D. (2022). Anthropogenic activities amplify wildfire occurrence in the Zagros eco-region of western Iran. *Natural Hazards*, *114*(1), 457-473. https://doi.org/10.1007/s11069-022-05397-6

Jafari, A., & Arman, Z. (2014). Monitoring of Vegetation Cover change in Helen Forested Protected Area and its Causes based on Bi-temporal Analysis of NDVI. *Journal of Natural Environment, 67*(4), 391-402. [In Persian] https://doi.org/10.22059/jne.2014.53068

Kasperson, R., Dow, K., Archer, E. R., Cáceres, D., Downing, T. E., Elmqvist, T., ... & Ziervogel, G. (2005). Vulnerable peoples and places. *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends: findings of the Condition and Trends Working Group of the Millennium Ecosystem Assessment*, 146-162.

Kennedy, H. P. (2004). Enhancing Delphi research: methods and results. *Journal of Advanced Nursing*, *45*(5), 504-511. https://doi.org/10.1046/j.1365-2648.2003.02933.x

Khosravi, K., Panahi, M., Golkarian, A., Keesstra, S. D., Saco, P. M., Bui, D. T., & Lee, S. (2020). Convolutional neural network approach for spatial prediction of flood hazard at national scale of Iran. *Journal of Hydrology,* 591, 125552. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125552

Korhonen, L., Korpela, I., Heiskanen, J., & Maltamo, M. (2011). Airborne discrete-return LIDAR data in the estimation of vertical canopy cover, angular canopy closure and leaf area index. *Remote Sensing of Environment, 115*(4), 1065-1080. https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.12.011

Kumar, M., Kalra, N., Singh, H., Sharma, S., Rawat, P. S., Singh, R. K., … & Ravindranath, N. H. (2021). Indicator-based vulnerability assessment of forest ecosystem in the Indian Western

Himalayas: An analytical hierarchy process integrated approach. *Ecological Indicators, 125*, 107568. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107568

Landeta, J. (2006). Current validity of the Delphi method in social sciences. *Technological Forecasting and Social Change, 73*(5), 467-482. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2005.09.002

Liu, J., Linderman, M., Ouyang, Z., An, L., Yang, J., & Zhang, H. (2001). Ecological degradation in protected areas: the case of Wolong Nature Reserve for giant pandas. *Science*, *292*(5514), 98-101. https://doi.org/10.1126/science.1058104

Mafi-Gholami, D. (2015). *Vulnerability assessment of mangroves for sustainable management (case study: Hormozgan province mangroves)*. PhD thesis. Faculty of Natural Resources, Tehran University. [In Persian]

Mafi-Gholami, D., Feghhi, J., Danehkar, A., & Yarali, N. (2015). Classification and Prioritization of Negative Factors Affecting on Mangrove Forests Using Delphi Method (a Case Study: Mangrove Forests of Hormozgan Province, Iran). *Advances in Bioresearch, 6*(3), 78-92. https://doi.org/10.15515/abr.0976-4585.6.3.7892

Mafi-Gholami, D., Zenner, E. K., Jaafari, A., Bakhtyari, H. R. R., & Bui, D. T. (2019). Multi-hazards vulnerability assessment of southern coasts of Iran. *Journal of Environmental Management, 252*, 109628. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109628

Mafi-Gholami, D., Pirasteh, S., Ellison, J. C., & Jaafari, A. (2021). Fuzzy-based vulnerability assessment of coupled social-ecological systems to multiple environmental hazards and climate change. *Journal of Environmental Management*, 299, 113573. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113573

Manca, D. P., Varnhagen, S., Brett-MacLean, P., Allan, G. M., Szafran, O., Ausford, A., ... & Turner, D. (2007). Rewards and challenges of family practice: Web-based survey using the Delphi method. *Canadian Family Physician*, *53*(2), 277-286.

McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1995). *Drought monitoring with multiple time scales*. Paper presented of the 9th Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society, Boston.

Meirvenne, V. (1998). Integrating properties of soil map delineations into ordinary kriging. *European Journal of Soil Science, 49*(2), 213-229. https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.1998.00157.x

Metzger, M. J., Leemans, R., & Schröter, D. (2005). A multidisciplinary multi-scale framework for assessing vulnerabilities to global change. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, *7*(4), 253-267. https://doi.org/10.1016/j.jag.2005.06.011

Miller, G. (2001). The development of indicators for sustainable tourism: results of a Delphi survey of tourism researchers. *Tourism Management, 22*(4), 351-362. https://doi.org/10.1016/S0261-5177(00)00067-4

Mildrexler, D., Yang, Z., Cohen, W. B., & Bell, D. M. (2016). A forest vulnerability index based on drought and high temperatures. *Remote Sensing of Environment, 173*, 314-325. https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.11.024

Ngo, P. T. T., Panahi, M., Khosravi, K., Ghorbanzadeh, O., Kariminejad, N., Cerda, A., & Lee, S. (2021). Evaluation of deep learning algorithms for national scale landslide susceptibility mapping of Iran. *Geoscience Frontiers*, *12*(2), 505-519. https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.06.013

Okoli, C., & Pawlowski, S. D. (2004). The Delphi method as a research tool: an example, design considerations and applications. *Information and Management*, *42*(1), 15–29. https://doi.org/10.1016/j.im.2003.11.002

Pirasteh, S., Fang, Y., Mafi-Gholami, D., Abulibdeh, A., Nouri-Kamari, A., & Khonsari, N. (2024). Enhancing vulnerability assessment through spatially explicit modeling of mountain social-ecological systems exposed to multiple environmental hazards. *Science of The Total Environment*, *930*, 172744. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.172744

Pringle, R. M. (2017). Upgrading protected areas to conserve wild biodiversity. *Nature*, *546*, 91-99. https://doi.org/10.1038/nature22902

Pourghasemi, H. R., Gayen, A., Panahi, M., Rezaie, F., & Blaschke, T. (2019). Multi-hazard probability assessment and mapping in Iran. *Science of the Total Environment*, *692*, 556-571. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.07.203

Rahmati, O., Yousefi, S., Kalantari, Z., Uuemaa, E., Teimurian, T., Keesstra, S., ... & Tien Bui, D. (2019). Multi-hazard exposure mapping using machine learning techniques: A case study from Iran. *Remote Sensing*, *11*(16), 1943. https://doi.org/10.3390/rs11161943

Rehana, S., & Monish, N. T. (2021). Impact of potential and actual evapotranspiration on drought phenomena over water and energy-limited regions. *Theoretical and Applied Climatology*, 144, 215-238. https://doi.org/10.1007/s00704-021-03521-3

Robinson, T. P., & Metternicht, G. (2006). Testing the performance of spatial interpolation techniques for mapping soil properties. *Computers and Electronics in Agriculture*, *50*(2), 97-108. https://doi.org/10.1016/j.compag.2005.07.003

Saatchi, S., Longo, M., Xu, L., Yang, Y., Abe, H., André, M., … & Elmore, A. C. (2021). Detecting vulnerability of humid tropical forests to multiple stressors. *One Earth*, *4*(7), 988-1003. https://doi.org/10.1016/j.oneear.2021.06.002

Smit, B., & Wandel, J. (2006). Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global Environmental Change*, *16*(3), 282-292. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.03.008

Sobhani, P., & Danehkar, A. (2023). Assessment of environmental hazards and vulnerability of Hara protected area using DPSIR model. *Environmental Hazards Management, 10*(3), 215-232.[In Persian] http//doi.org/10.22059/jhsci.2023.366567.797

Su, T., Sun, S., Wang, S., Xie, D., Li, S., Huang, B., ... & Feng, T. (2022). Spatiotemporal variation of actual evapotranspiration and its relationship with precipitation in northern China under global warming. *Remote Sensing*, *14*(18), 4554. https://doi.org/10.3390/rs14184554

Tamassoki, E., Soleymani, Z., Bahrami, F., & Abbasgharemani, H. (2014). A survey of drought and variation of vegetation by statistical indexes and remote sensing (Case study: Jahad Forest in Bandar Abbas). In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 20*(1), 012033. IOP Publishing. https://doi:10.1088/1755-1315/20/1/012033

Tidball, K., & Stedman, R. (2013). Positive dependency and virtuous cycles: from resource dependence to resilience in urban social-ecological systems. *Ecological Economics*, *86*, 292-299. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.10.004

Thakur, S., Dhyani, R., Negi, V. S., Patley, M. K., Rawal, R. S., Bhatt, I. D., & Yadava, A. K. (2021). Spatial forest vulnerability profile of major forest types in Indian Western Himalaya. *Forest Ecology and Management*, *497*, 119527. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119527

Turner, B. L., Kasperson, R. E., Matson, P. A., McCarthy, J. J., Corell, R. W., Christensen, L., ... & Schiller, A. (2003). *A framework for vulnerability analysis in sustainability science*. Paper presented of the National Academy of Sciences, 100(14), 8074-8079. https://doi.org/10.1073/pnas.1231335100

Windle, P. E. (2004). Delphi Technique: assessing component needs. *Journal of Peri Anesthesia Nursing*, *19*(1), 46-47. https://doi.org/10.1016/j.jopan.2003.11.005

Wilhelmi, O. V., & Morss, R. E. (2013). Integrated analysis of societal vulnerability in an extreme precipitation event: A Fort Collins case study. *Environmental Science & Policy*, *26*, 49-62. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2012.07.005

Wu, H., Hayes, M. J., Weiss, A., & Hu, Q. I. (2001). An evaluation of the Standardized Precipitation Index, the China-Z Index and the statistical Z-Score. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, *21*(6), 745-758. https://doi.org/10.1002/joc.658

Zhang, L., Xiao, J., Li, J., Wang, K., Lei, L., & Guo, H. (2012). The 2010 spring drought reduced primary productivity in southwestern China. *Environmental Research Letters*, 7(4), 045706. https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/4/045706